

# Experiencias en el reforzamiento estructural

## Micropilotaje: ¿Cómo, cuándo y dónde?

Ing. Oscar López. TREVIGALANTE S.A  
Ing. Carlos Orozco. TREVIGALANTE S.A

Fotos: Cortesía de TREVIGALANTE S.A

**El uso de micropilotes** en la ingeniería de cimentaciones es amplio gracias a la versatilidad de la tecnología y a la posibilidad de utilizar equipos compactos y livianos, lo cual abre alternativas de operación en áreas confinadas y reduce el impacto sobre las estructuras existentes.

Los micropilotes generalmente se describen como elementos estructurales de pequeño diámetro llenos de lechada, la cual puede ser colocada o inyectada, reforzados con acero capaz de resistir las cargas determinadas en los diseños.

Los diámetros de micropilotes varían entre 0,1 y 0,3 m y las longitudes medias entre 30 y 35 m. Sin embargo, en casos especiales pueden trabajar a profundidades que superan los 100 m. Los primeros usos de los micropilotes se remontan a la década de 1950 en Italia, donde el doctor Fernando Lizzi (1914-2003) y la empresa italiana Fondedile SpA empezó a aplicar esta tecnología ante la necesidad de encontrar sistemas estructurales de reforzamiento para los monumentos y estructuras afectadas por la Segunda Guerra Mundial.

→ Los micropilotes son elementos estructurales de pequeño diámetro.

↓ Los diámetros oscilan entre 0,1 y 0,3 metros.



### Micropilotes para reforzamiento estructural

En los últimos años, y ante la reducida disponibilidad de suelo, el aumento de su precio y en algunos casos el asentamiento excesivo de estructuras por rellenos mal compactados, drenajes deficientes o debido a los diseños, se observa un aumento en la ejecución de trabajos de micropilotes bajo sótanos. Además de solucionar problemas de asentamientos, los micropilotes permiten el reforzamiento de los cimientos admitiendo economías de escala para los propietarios debido a inversiones menores y más eficientes en estructuras ya construidas.

Teniendo en cuenta los beneficios de este tipo de cimentación, en Bogotá se realizó la construcción y reforzamiento estructural de un edificio de carácter institucional bajo la premisa de desarrollo sostenible, coherente con la filosofía institucional. El diseño permitió, además, reaprovechar recursos y minimizar desperdicios.

El proyecto consta de dos etapas: la primera es la construcción de un nuevo edificio de 10 pisos en un área cercana a los 2.000 m<sup>2</sup> que contará con aulas, laboratorios, auditorios, polideportivo, gimnasio y parqueaderos. La segunda etapa será el reforzamiento estructural de una estructura de plazoleta y 2 sótanos perteneciente a un edificio vecino, el cual hace parte del proyecto general institucional.

### Cimentación del proyecto

La estratigrafía encontrada es típica de la sabana de Bogotá, con un perfil errático por su formación y conformado por limos arcillosos, arcillas con lentes, capas de arena grava y madera en descomposición (turba). La consistencia de los materiales cohesivos es de media a blanda y una densidad media para los materiales granulares que se encuentran entre 0 y 31 metros de profundidad. A continuación, arenas finas con gravas muy compactas hasta una profundidad de 40 metros, siendo este el estrato de cimentación.

Según el estudio de suelos, el nivel freático se estabiliza a 3 m bajo el nivel de la superficie.

Para la cimentación del edificio nuevo se ejecutó una pantalla perimetral de 17 m de longitud y espesor 0,4 m, pilotes de diámetros variables entre 0,6 y 0,7 m con longitudes 36 m y barretes de 33 m de profundidad. Para un total de 5.490 m de pilotes y 1.610 m<sup>3</sup> de pantallas y barretes.

El reforzamiento del edificio ya construido consistió en la ejecución de 77 micropilotes de 0,25 m de diámetro y 31 m de longitud, medidos 6,75 m por debajo del terreno, correspondiente a la plataforma de trabajo, las cargas del reforzamiento se encuentran en un rango de entre 70 y 500 toneladas. La ejecución de los micropilotes presenta dos retos significativos: el primero es la estabilización de la perforación toda vez que el nivel freático del proyecto se encuentra 3,75 m por encima de la plataforma de trabajo, y el segundo es la ejecución de los trabajos en un sótano, cuya altura media es de 2,6 m, con columnas intermedias en toda el área del mismo y con alguna zona en funcionamiento.

Una consideración muy importante fue la valoración de los gases, no solo provenientes de los equipos de perforación que trabajan en el Sótano 2 del edificio, sino también los gases que emiten los vehículos que utilizan estos sótanos. Por tal razón fue necesario adecuar un sistema de extracción de gases desde el Sótano 2 hasta la superficie. Este sistema, con capacidad de ventilación para 1.000 m<sup>2</sup>, consta de un ventilador helicoidal encargado del ingreso del aire limpio al sótano, dos extractores helicoidales que extraen los gases producidos por los equipos de perforación y los vehículos, además de cuatro extractores axiales que evacúan los gases hacia los extractores helicoidales desde los puntos aislados del Sótano 2.

Además de solucionar problemas de asentamientos, los micropilotes permiten el reforzamiento de los cimientos.

### Equipo

Debido a la restricción de altura para la ejecución de los trabajos, los equipos de perforación con capacidades de 9,5 KN/m y 17,40 KN/m, debieron adaptarse con cabezas de rotación especiales que garantizaran el torque necesario para la excavación en los suelos granulares densos encontrados a 31 m por debajo del terreno. Además fue necesario diseñar y adecuar las herramientas de perforación con dientes de tungsteno debido a la dureza de estos suelos, e implementar un sistema de manómetros con el fin de controlar las presiones de ingreso de fluido y asegurar el transporte constante de detritos a superficie para ser depositados en la piscina de almacenamiento de la lechada de perforación. También hubo que instalar winches en el cuerpo de los equipos para reducir su altura.

Para la inyección se utilizó un grupo compacto que contiene mezclado e inyección en uno y posee la capacidad de inyectar entre 20 y 100 L/min. Esto garantiza menor tiempo en inyecciones y funcionalidad para instalación en espacios reducidos.



Para la inyección se utilizó un grupo compacto que incluye mezclado e inyección en uno.

### Perforación del micropilote

Como medida preventiva, en la ejecución de los micropilotes se realizó una cortina perimetral alrededor de los dados de reforzamiento con el fin de que la lechada de excavación no afectara el lecho filtrante de la placa de supresión del edificio en servicio. La cortina perimetral tiene 0,2 m de espesor y altura variable que depende del espesor de la placa y del lecho filtrante de la placa de supresión.

Teniendo en cuenta la dificultad hidrogeológica del sitio donde se ejecutaron los trabajos (nivel freático por encima de la plataforma de trabajo y presencia de acuíferos), se diseñó un fluido de perforación bentonita-cemento con el fin de contrarrestar la presión hidrostática presente que podría generar colapsos del material granular durante la perforación. Así mismo,



como precaución se encamisó la perforación con tubería de 0,172 m garantizando que durante la colocación del refuerzo no se presentaran colapsos de material granular.

Es importante **hacer hincapié** que en este tipo de proyectos se debe llevar un control estricto de los volúmenes y características de los lodos de perforaciones, debido a la mezcla de estos lodos con el agua de nivel freático, lo que lleva a pérdida de características y a aumento de volumen del mismo. Como información, en este caso se alcanzó el retiro de 2.200 m<sup>3</sup> de lodos adicionales a los requeridos, quintuplicando el volumen de los fluidos de perforación teóricos.

### Acero de refuerzo

El acero de refuerzo de los micropilotes consistió en 4 barras de acero de 1 pulgada de diámetro en toda la longitud. Debido a la restricción de altura, el acero de refuerzo tenía longitud máxima de 2 m y la conexión de estas secciones se efectuó mediante uniones mecánicas donde cada micropilote tenía 16 secciones de barras. Paralelo a la instalación de barras de refuerzo se incluía la tubería Manchete en el centro para posteriormente llenar e inyectar el micropilote.

### Inyección

La lechada de inyección y reinyección con relación A/C de 0,5 tenía densidad promedio de 1,80 Ton/m<sup>3</sup> y viscosidad de 45 segundos; con el fin de reducir la viscosidad de la mezcla, aumentar su resistencia y evitar la segregación del cemento al ser inyectado, se utilizaron aditivos.

### Reinyección de micropilotes

De acuerdo con las especificaciones del proyecto, la mezcla requerida para la inyección de los micropilotes con relación A/C de 0,5 debía tener resistencias de entre 21 MPa y 35 MPa. Las inyecciones se realizaron con presiones de entre 5 y 10 bares con el fin de

↑ Debido a la restricción de altura, el acero de refuerzo tenía secciones máximas de 2 m conectadas por uniones mecánicas.

generar bulbos en todo el fuste de los micropilotes. Para ello se instaló en toda la longitud del elemento tubería Manchete con espaciamiento de 50 cm. Antes de los trabajos se realizó una prueba de carga estática para verificar las hipótesis de diseño y se obtuvieron resultados satisfactorios.

Dentro de las verificaciones que se deben hacer a la mezcla de reinyección destaca el control de la fluidez. Si la mezcla tiene viscosidad alta la inyección se dificulta y puede segregarse, desgastará los equipos de inyección y acortará los tiempos de manejabilidad.

También deben controlarse las presiones de inyección total (máxima y mínima) y los consumos de lechada por tramos. Las presiones altas pueden generar grietas en el subsuelo y causar sobreconsumos en lechada o comunicación (unión) entre elementos del mismo dado.

### Conclusiones

- Debido a la gran versatilidad de equipos, longitudes, diámetros y resistencia, los micropilotes se convierten en un sistema estructural muy recomendado para el control de asentamientos y reforzamiento estructural.
- En el mercado colombiano existen equipos compactos de última tecnología capaces de realizar excavaciones a más de 40 m de profundidad, garantizando la calidad y óptimos tiempos de ejecución.

### Bibliografía

- Pagliacci, Federico (2015), *Ground engineering technologies*, Cesena-Italia, TREVIGROUP 2015
- Elarabi, Abbas (2014), *Micropiles for Structural Support*, *International Journal of engineering sciences & research technology*, pp 205-211.
- Honrao, Y.D., Gupta, A.K., Desai, D.B, *Micro-Piles*, *Journal of mechanical and Civil Engineering*, PP 48-50. 



## En todas tus obras, siempre preocúpate por:

✓ Tramitar legalmente todos tu permisos y licencias.

✓ Hacer todos los ensayos de control de calidad de los materiales de acuerdo a la NSR-10 y a las Normas Técnicas correspondientes, en laboratorios confiables y acreditados.

✓ Contar con proveedores de acero, cemento y concreto formales y que te den respaldo.

✓ Verificar el origen legal de los insumos, en especial de arenas y gravas.

✓ Estar al día en el pago de impuestos, emitiendo y exigiendo los documentos legales.

✓ Contratar personas y empresas con los requisitos de ley en cuanto aportes a la salud y a la seguridad social.

✓ Contar con profesionales idóneos y experimentados en diseño, construcción y supervisión.

✓ En materiales que cuentan con reglamento técnico como acero de refuerzo y malla electrosoldada, asegurarse de pedir el certificado.



**Con esto, se protege la vida, se cuida el patrimonio de los colombianos y se impulsa la economía nacional**

UNA CAMPAÑA CON EL APOYO DE

